(Aus dem physiologischen Institut der Universität Rostock.)

Beobachtungen über die zur Accommodation des Auges und die zur accommodativen Krümmungveränderung der vorderen Linsenfläche erforderlichen Zeiten.

Von

Angelucci und **Aubert.**

(Hierzu Taf. II.)

Die Theorie des Accommodationsvorganges von Helmholtz gehört wohl zu den bestbegründeten und nach den meisten Beziehungen untersuchten in der physiologischen Optik — indess ist eine Frage bisher noch nicht aufgeworfen worden, nämlich die Frage, ob die zur Accommodation des Auges für die Nähe, bezw. für die Ferne erforderliche Zeit eben so gross ist, als die Zeit, welche zu der Bewegung des von der vorderen Linsenfläche reflectirten Bildchens erfordert wird. Da aus den Untersuchungen von Vierordt[1]) und Aeby[2]) hervorgeht, dass die Zeit, welche das Auge zur Accommodation für die Nähe braucht, grösser ist, als die zur Accommodation für die Ferne erforderliche Zeit, so ist die Frage von Interesse, ob das Linsenbild gleichfalls eine verschieden lange Zeit zu seiner Wanderung in dem einen oder dem anderen Falle bedarf. Wenn der Accommodation für die Nähe eine Muskelcontraction, der Accommodation für die Ferne eine Muskelerschlaffung zu Grunde liegt, so ist von vornherein anzunehmen,

1) K. Vierordt, Versuche über die Zeitverhältnisse des Accommodationsvorganges im Auge. Arch. f. physiol. Heilk. N. F. I. 1857. p. 17.

2) Ch. Aeby, Die Accommodationsgeschwindigkeit des menschlichen Auges. Zeitschrift f. ration. Medicin. III. Reihe, Bd. XI. 1861. p. 300.

185178

dass die für diese beiden Vorgänge erforderliche Zeit abhängig ist von dem Verhältniss der Grösse der zur Wirkung kommenden Muskelkraft zu der Grösse der zu bewegenden Last, d. h. zu der Elasticitätsgrösse der Linse, welche durch den Muskelzug überwunden werden muss. Es ist also die erste Frage, ob die Formveränderung der Linse bezw. die Bewegung ihres Reflexbildes eine andere Zeitdauer hat bei der Accommodation für die Nähe, als bei der Accommodation für die Ferne.

Zur Untersuchung dieser Aufgabe bedurften wir a. eines Apparates, welcher eine genaue Beobachtung der Bewegung des Reflexbildchens von der vorderen Linsenfläche ermöglicht, b. eines die Zeit messenden, c. eines den Eintritt und das Ende der accommodativen Veränderungen sicher markirenden Apparates.

a) Zur Beobachtung des Linsenbildchens bedienten wir uns, nachdem wir vielerlei Vorrichtungen durchprobirt hatten, welche uns nicht genügten, eines etwas modificirten Cramer'schen Phakoeidoskopes, wie es Figur 1 zeigt.

In O befindet sich das accommodirende Auge, welches nach dem Nahezeichen N oder dem Fernzeichen F gerichtet ist; von L, der Lichtquelle, werden die 3 Bilder im Auge entworfen, welche reflectirt und durch den Mikroskoptubus von dem Auge S beobachtet werden. — Die Lichtquelle L besteht aus der Warmbrunn und Quilitz'schen Beleuchtungslampe (Catalog, Abtheilung Physik 1878 Nr. 936), bei welcher ein Strom von Leuchtgas mit erhitzter comprimirter atmosphärischer Luft gemengt gegen eine beschränkte Stelle eines Kalkcylinders geblasen wird. Diese uns von Herrn Professor Merkel gütigst überlassene Lampe gab ein für unsre Beobachtungen sehr passendes Licht, da die leuchtende Fläche klein und die Helligkeit derselben sehr intensiv und genügend gleichmässig ist. Gewöhnliche Gasflammen sind zu gross und zu lichtschwach, Drummond'sches Licht zu intensiv und seine Erzeugung zu umständlich. Der Kalkcylinder erglühte in der Ausdehnung einer Scheibe von ungefähr 8 mm Durchmesser, und da er sich in einer Entfernung von 69 cm von dem Auge O befand, so berechnet sich für dies Reflexbild von der Hornhaut ein Durchmesser von 0,046 mm. Mit diesem Beleuchtungsapparate erschien denn auch das von der vorderen Linsenfläche reflectirte Bild so

intensiv, dass es leicht und sicher in seinen Bewegungen verfolgt werden konnte.

Das zu beobachtende accommodirende Auge O nimmt leicht die passende Stelle ein, an welcher die Reflexbilder dann beobachtet werden können, da die Umgebung des Auges fest an den innen geschwärzten Kasten angelegt und in eine solche Lage gebracht wird, dass sich die Mittelpunkte der Visirzeichen N und F nahezu decken. Die Linie ONF bedeutet also die Gesichtslinie des Auges, N den Ort des Nahezeichens, welches aus zwei sich kreuzenden Doppelfäden von weisser Seide bestand und verschieden weit von dem Auge festgestellt werden konnte. Das Fernzeichen F befand sich in einer Entfernung von 22 Meter im dunkeln Zimmer und in dunkler Umgebung; es dient dazu ein mit geöltem Papier beklebter Schlitz in schwarzer Pappe. Beide Accommodationszeichen sind so lichtschwach, dass durch dieselben keine störenden Reflexe von der Oberfläche des Auges hervorgebracht werden können.

Zum Beobachten der 3 Reflexbilder des Auges dient ein eigens hierzu construirter Mikroskoptubus, aus einem schwachen Objectiv und einem Ocular I der gebräuchlichen Mikroskope bestehend, welcher eine 13malige Vergrösserung giebt bei 9 cm Entfernung des Objectivs von dem zu beobachtenden Auge. — Die Einstellung dieses Tubus ist bei den hier vorliegenden Versuchen mit besonderer Rücksicht auf die Veränderungen des Reflexbildchens von der vorderen Linsenfläche in Folge der Accommodation zu reguliren. Stellt man nämlich den Tubus so auf das Bildchen ein, dass es bei der Accommodation für die Nähe relativ scharf, bei Accommodation für die Ferne aber relativ verwaschen erscheint, so kann man zwar genau den Anfang und das Ende der Accommodation für die Nähe, aber nur ungenau das Ende der Accommodation für die Ferne beobachten. Um immer den Anfang und das Ende einer Bewegung des Linsenbildchens gleichmässig sicher beobachten zu können, ist es geboten, den Tubus so einzustellen, dass das vordere Linsenbild seinen Character bei den extremen Accomodationsstellungen möglichst wenig ändert. Man darf daher den Tubus nicht so einstellen, dass das Hornhautbild und die Iris mit grösster Schärfe erscheinen, sondern muss denselben so weit dem Auge angenähert einstellen, dass Hornhautbild und Iris ein

wenig verwaschen erscheinen: dann erscheint das vordere Linsenbild ziemlich eben so verwaschen, wenn das Auge für die Nähe, als wenn es für die Ferne accommodirt ist. — Wir haben im Laufe unserer vielen Beobachtungsreihen sehr erhebliche Differenzen erhalten, je nachdem wir die eine oder die andere Einstellung wählten. Man ersieht diese Differenzen aus Versuch 8 der Tabelle I im Vergleich mit den übrigen Versuchen derselben Tabelle. Da uns aber die zuletzt angegebene Einstellung als die richtige erscheint, so haben wir unsern Zahlenangaben und Berechnungen nur die nach ihr gewonnenen Werthe zu Grunde gelegt.

b) Wir bedurften ferner eines Apparates, welcher die Bestimmung von 0,01 Sekunde sicher zu registriren ermöglichte. Die zeitmessende Vorrichtung ist ähnlich derjenigen, welche am Kymogrophion zur Anwendung kommt und welche u. A. von von Kries und Auerbach[1]) benutzt worden ist. Sie besteht aus einem gleichmässig bewegten Papierstreifen, einem genau regulirten Sekundenpendel und einem durch Oeffnung und Schliessung des mit dem Pendel verbundenen electrischen Stromes in Bewegung gesetzten Schreibapparates.

Der Papierstreifen wird durch den in Fig. 2 dargestellten rotirenden Apparat bewegt.

Derselbe ist eine Modification des Traube-Sauerwald'schen Kymogrophion, welche Aubert in Gemeinschaft mit dem Custos des Institutes, dem Mechanikus Westien, construirt hat[2]). In Figur 2 bedeutet die punktirte Linie den Papierstreifen: derselbe ist in einer Länge von etwa 30 Meter um den mit geringer Reibung drehbaren Cylinder I aufgewickelt, geht dann um die polirten Stahlstangen II und III über den sehr leicht drehbaren Messingcylinder IV, an welchem die registrirenden Schreibapparate angebracht werden, zu der Trommel V des Kymographion, an welcher der Papierstreifen mittelst der Spange der Kymogrophionstrommel eingeklemmt ist; auf die Trommel wird der Papierstreifen aufgewickelt. Die Rotation der Trommel ist eine sehr gleichmässige;

1) J. von Kries und F. Auerbach, Die Zeitdauer einfachster psychischer Processe. Arch. f. Anat. und Physiol. Abth. Physiol. 1877, p. 297.

2) Die Beschreibung der Vorrichtung geben wir namentlich im Interesse der Besitzer von Kymographien ohne unendliches Papier.

da indess durch die Ungleichheiten des Papiers und andere Momente kleine Störungen in der Gleichmässigkeit der Vorbeibewegung des Papierstreifens gesetzt werden können, so muss doch noch durch eine besondere Vorrichtung die jeweilige Geschwindigkeit der Abwickelung des Papierstreifens controlirt und markirt werden.

Dazu dient ein mit einem schwerem Sekundenpendel versehenes Uhrwerk, welches sehr genau regulirt ist. Die untere Spitze des Pendels bildet ein Platindraht, welcher bei den Excursionen des Pendels eine Quecksilberkuppe zu durchschlagen hat. Bei der Berührung der Quecksilberkuppe wird jedesmal ein electrischer Strom geschlossen und sogleich wieder geöffnet, welcher in der gebräuchlichen Weise um weiche Eisenkerne geleitet, einen Anker a, Figur 3, anzieht, an dessen Arm b eine Schreibpfeife c so befestigt ist, dass dieselbe mit ihrer Spitze immer an dem vorbeigezogenen Papierstreifen anliegt. Figur 3 zeigt diesen Registrirapparat, welcher auf- und abwärts verschoben und um die Stange d bewegt werden kann. Sobald der Magnetismus der Eisenkerne aufhört, wird der Arm b durch die entsprechend kräftige Feder F wieder nach abwärts gezogen. Bei Schliessung des Stromes durch das Pendel wird die Pfeife um etwa 1—2 mm, je nach der Einstellung des Ankerrahmens, gehoben, bei der Oeffnung des Stromes sogleich durch die Kraft der Feder wieder herabgezogen. Da die Platinspitze des Pendels nicht den Gipfelpunkt der Quecksilberkuppe allein berührt, sondern durch ein Segment der Quecksilberkuppe hindurchschlägt, so fallen die Schliessungen nicht ganz genau mit jeder Sekunde zusammen, wohl aber mit der je zweiten Sekunde — berücksichtigt man immer den Weg, welchen der Papierstreifen in je zwei Sekunden zurücklegt, so ist es auch nicht nothwendig, dass der Gipfelpunkt der Quecksilberkuppe ganz genau mit dem tiefsten Punkte des Pendelbogens zusammenfällt. Wir haben immer bei unsern Ausmessungen je zwei Sekunden zusammengefasst, und um die Länge für eine Sekunde zu erhalten, halbirt. Für je 1 Sekunde betrug die Länge des Weges etwa 10 mm bis 12 mm im Durchschnitt.

c) Die Markirung der Accommodationszeiten und der Zeiten für die Wanderung des Reflexbildchens von der vorderen Linsenfläche wurde gleichfalls durch Schliessung

und Oeffnung eines constanten Stromes und einer Schreibvorrichtung wie in Figur 3 bewirkt, indem durch Druck auf einen Elfenbeinknopf mit dem Fingernagel der Strom von dem Accommodirenden bezw. dem das Linsenbildchen Beobachtenden geschlossen und durch Loslassen des Knopfes geöffnet wurde. Da der eine Strom von dem Accommodirenden, der andere Strom von dem Beobachter der Reflexbildchen geöffnet und geschlossen wurde, und jeder seine Zeiten für sich registrirte, so musste dafür gesorgt werden, dass die Schreibpfeifen genau senkrecht über einander angebracht waren, oder dass, wenn dies nicht der Fall war, genau die Abweichung von der Senkrechten auf dem Papier angegeben wurde — nur dann können die von den beiden Beobachtern gefundenen Zeiten auf einander reducirt werden. Es waren ferner besondere Bestimmungen darüber zu machen, ob die Bewegung der Pfeifen in demselben Momente erfolgte, wenn sie sich senkten, als wenn sie sich hoben: die Anordnung der Ströme wurde also so gemacht, dass mit dem Oeffnen des einen Stromes zugleich der andere Strom geschlossen wurde und umgekehrt — der Erfolg war, dass Schliessung und Oeffnung ganz genau gleichzeitig erfolgten. Ferner wurde untersucht, ob bei gleichzeitigem Schliessen bezw. Oeffnen der beiden Ströme die beiden Anker auch genau gleichzeitig angezogen und losgelassen wurden: auch hierbei zeigte sich, dass sie in merklich gleicher Zeit ihre Bewegungen ausführten. Die Methode der Bestimmung war im wesentlichen dieselbe, welche von Kries und Auerbach angewendet haben.

Nachdem wir uns überzeugt hatten, dass unsere Apparate prompt arbeiteten, war es nothwendig, für jeden von uns die persönliche Gleichung oder die einfache Reactionszeit zu bestimmen d. h. die Zeit, welche von der Wahrnehmung eines Lichteindrukes bis zu der Schliessung oder Oeffnung des Stromes durch die Bewegung des Fingers vergeht. Behufs dieser Bestimmungen wurde an die Stelle des Auges in Fig. 1 O eine Quecksilberkuppe gebracht, an welcher ein kleiner Oeffnungsfunken übersprang, welcher durch den Mikroskoptubus des Phakoeidoskopes gesehen wurde. Beim Ueberspringen des Funkens senkte sich in Folge der Oeffnung des Stromes die Schreibpfeife und so wie der Beobachter den Funken sah, drückte er den Elfenbeinknopf nieder, wodurch der Strom wieder geschlossen und die Pfeife

wieder gehoben wurde. Die Länge der Linie vom Beginne des Senkens bis zum Beginne des Steigens ist der Ausdruck der Zeit, welche vergeht von dem Ueberspringen des Funkens bis zur Markirung des Gesehenwerdens desselben d. h. die Zeit für die persönliche Gleichung.

Die Ausführung der Versuche geschah in folgender Weise:

Im ziemlich dunkeln Zimmer legte der Accommodirende O den Kopf so an die Oeffnung des Phakoeidoskopes bei O Fig. 1, dass sich für sein Auge die Kreuzungspunkte der beiden Accommodationszeichen nahezu deckten, und es wurde der Tubus so gestellt, dass der Beobachter S die 3 Reflexbilder gut sehen konnte, das Reflexbild von der vorderen Linsenfläche aber bei der Accommodation seinen Charakter in Bezug auf Grösse und Deutlichkeit nicht merklich änderte. Die Bewegung des Auges bei der Accommodation war, da der Kopf fest anlag und die Accommodationszeichen nahezu in der Gesichtslinie lagen, so gut wie ganz ausgeschlossen. Das Nahezeichen befand sich entweder in einer Entfernung von 11 cm oder von 20 cm — das Fernzeichen immer in einer Entfernung von 22 Meter. Der Nahepunkt für Angeluccis Auge befindet sich in 107 mm Entfernung, der für Westiens Auge in 105 mm Entfernung. Sowohl der Accommodirende O, wie der Beobachter S legten den Zeigefinger mit dem Nagel in den Einschnitt des Elfenbeinknopfes. Das Auge O war anfangs für die Ferne eingestellt, es wurde zuerst für das Nahezeichen, dann für das Fernzeichen accommodirt und dies 2 bis 3 mal wiederholt — dann wurde nach kürzerer oder längerer Pause die Procedur wiederholt oder der Beobachter, oder der Accommodirende gewechselt. So wie der Accommodirende anfing zu accommodiren, drückte er auf den Elfenbeinknopf und liess ihn los, sobald er das neue Accommodationszeichen deutlich und scharf sah — der Beobachter drückte auf seinen Elfenbeinknopf, sowie er die Bewegung des Linsenbildchens bemerkte, und liess ihn los, sobald das Bildchen an seinem neuen Orte angelangt war.

Die Ausmessung der Zeiten, welche auf dem Papierstreifen verzeichnet sind, geschieht mittelst eines gläsernen Millimetermassstabes; die Bruchtheile von Millimetern wurden geschätzt, was bei einer Lupenvergrösserung ganz gut bis auf zehntel Millimeter geschehen kann. 1 mm entsprach durchschnittlich $^1/_{10}$ bis $^1/_{12}$ Se-

kunde. Nach den Ausmessungen werden dann die Zeiten in einfacher Weise berechne. In den Tabellen ist die Einheit = 0,01 Sekunde gesetzt, um die vielen Nullen zu vermeiden.

Wir bezeichnen die Zeit, welche vergeht vor dem Loslassen des einen bis zum deutlichen Sehen des andern Accommodationszeichens mit O — die Zeit vom Beginne der Wanderung des Linsenbildchens bis zum Ende derselben mit S — die Zeit vom Beginne der Accommodation bis zum Beginne der beobachteten Wanderung des Linsenbildchens mit OS — endlich die Zeit von dem Ende der beobachteten Wanderung des Linsenbildchens bis zur Vollendung der neuen Accommodation mit SO. Figur 4 veranschaulicht diese Zeitabschnitte entsprechend den von uns erhaltenen Aufzeichnungen, indem F die Accommodation für die Ferne, N die Accommodation für die Nähe bedeutet. Die Linie O gehört dem Accommodirenden, die Linie S dem Beobachter — der Abschnitt O bezeichnet die Zeit vom Beginn bis zum Ende der Accommodation — OS die Zeit, welche vergeht, ehe der Beobachter S den Beginn der Wanderung des Linsenbildchens markirt, S die Zeit vom Beginn bis zum Ende der Wanderung des Linsenbildchens, SO die Zeit vom Ende der beobachteten Wanderung des Linsenbildchens bis zur Beendigung der Accommodation. SO ist in dem Falle F=O, in dem Falle N eine positive Grösse; SO kann aber auch negativ sein, wenn S über das Ende von O hinausrückt, d. h. wenn der Accommodirende früher das neue Accommodationszeichen deutlich sieht, als der Beobachter das Ende der Wanderung des Linsenbildchens markirt.

Wir geben in Tabelle I eine Probe derartiger Versuchsreihen aus der letzten Zeit unserer Beobachtungen.

Tabelle I (Einheit = 0,01 Sec.)

	N = 11 cm.		F = 2200 cm.		N = 20 cm.		F = 2200 cm.	
	O	S	OS	SO	O	S	OS	SO
	1) Angelucci O,		Aubert S.		2) Angelucci O,		Aubert S.	
N	135	53	88	6	100	50	44	6
F	94	53	71	—30	89	33	66	—10
N	142	47	82	13	86	33	60	— 7
F	129	41	76	12	83	21	54	8
N	155	33	72	50	81	32	43	6
F	147	47	76	24	65	32	54	—21

	N = 11 cm.		F = 2200 cm.		N = 20 cm.		F = 2200 cm	
	O	S	OS	SO	O	S	OS	SO
	3) Westien O		Aubert S.		4) Westien O.		Aubert S.	
N	177	33	55	89	105	38	54	13
F	66	38	55	—27	57	31	45	—19
N	195	37	49	107	99	28	34	37
F	83	44	44	— 5	34	26	63	—55
N	171	39	44	88	77	43	34	— 3
F	89	33	33	23	57	23	46	—12
	5) Westien O		Angelucci S.					
N	207	42	36	130				
F	59	57	19	—17				
N	186	40	28	118				
F	66	39	39	—12				
N	190	27	27	136				
F	53	39	33	—19				
	6) Angelucci O,		Westien S.		7) Angelucci O		Westien S.	
N	127	55	27	45	86	27	49	10
F	99	39	28	33	78	33	22	23
N	157	43	32	82	83	30	22	31
F	97	21	21	53	66	28	17	21
N	151	32	27	92	89	28	44	13
F	78	38	22	18	66	28	22	6
	8) Angelucci O,		Aubert S.					
N	150	48	54	48				
F	120	36	54	30				
N	134	60	57	17				
F	94	36	55	3				
N	111	55	39	17				
F	94	36	50	8				

Bei mancherlei Schwankungen der einzelnen analogen Bestimmungen tritt zunächst als besonders auffallend hervor die grosse Differenz zwischen den Zeiten für O und für S, d. h. zwischen der von dem Accommodirenden zu einer Accommodation gebrauchten Zeit, und derjenigen Zeit, welche für die Wanderung des Reflexbildchens von der vorderen Linsenfläche gefunden wird. Dieses Resultat ist constant in allen unseren Versuchen: immer ist die Zeit für die Wanderung des Linsenbildchens viel kürzer, als die zu einer Accommodation erforderliche Zeit. Ferner ist die Wanderungszeit für das Reflexbildchen nur geringen Schwankungen in verschiedenem Sinne unterworfen, während die Zahlen für die Accommodationszeiten sehr bedeutenden

Schwankungen in bestimmtem Sinne unterliegen. Die längste für S von uns gefundene Zeit beträgt 0,53 Sec., die kürzeste 0,21 Sec. — im Mittel aus allen Versuchen aber 0,33 Sec., von welchem Mittel die grosse Mehrzahl der Beobachtungen nur wenig abweicht.

Ehe wir weitere Resultate aus unsern Versuchen zu gewinnen suchen, geben wir aber noch eine Zusammenstellung der Mittel aus einer der grösseren Versuchsreihen eines Tages in Tabelle II, indem wir zugleich die erhaltenen Werthe den daraus zu ziehenden Schlüssen entsprechend gruppiren.

Tabelle II. (Mittel der Versuche vom 17. XII. 79.)

Versuchs-nummer.	Nahezeichen 11 cm.				Fernzeichen 2200 cm.			
	O^N	O^F	S^N	S^F	OS^N	OS^F	SO^N	SO^F
I	158	120	42	47	82	78	34	— 5
III	181	79	36	39	49	44	96	— 4
V	139	71	38	35	41	40	60	— 4
VII	194	62	36	47	28	30	130	—15
VIII	148	98	38	26	30	26	80	46
XI	151	94	32	39	26	45	93	10
XV	178	77	29	38	52	51	97	—12
XVII	112	51	29	35	25	24	58	— 8
XVIII	153	92	38	42	53	53	62	— 4
Mittel	157	82	35	39	43	43	79	$^1/_2$
	Nahezeichen 20 cm.				Fernzeichen 2200 cm.			
II	90	81	36	36	51	61	3	—16
IV	94	49	36	26	41	52	17	—30
VI	115	61	31	32	31	33	53	— 4
IX	84	74	36	27	34	22	14	25
XII	90	73	35	40	46	40	9	— 7
XIII	119	64	26	34	64	56	37	—26
XIV	87	49	28	27	56	52	3	—30
XVI	64	41	26	28	21	25	17	—12
Mittel	93	62	31	31	43	43	19	—12

Auch die Mittel der einzelnen Versuche, so wie die Gesammtmittel ergeben in Bezug auf die Wanderungszeit des Linsenbildchens keine erheblichen Differenzen; einigen Einfluss darauf scheint die Accommodationsgrösse zu haben. Liegt nämlich das Nahezeichen dem Nahepunkte des Auges sehr nahe, so ist die Zeit etwas grösser, als wenn dasselbe etwas mehr von dem Nahepunkte entfernt liegt. Bei 11 cm Entfernung des Nahezeichens von dem Auge betrug die Wanderungszeit im Gesammtmittel 0,37 Sec., bei 20 cm Entfernung des Nahezeichens aber nur 0,31 Sec.

Verschwindend ist dagegen die Differenz der Wanderungs-

zeiten für das Linsenbild, wenn von Fern auf Nahe gegen die Zeit, wenn von Nah auf Fern accommodirt wird — namentlich im Hinblick auf die Abweichungen der einzelnen gefundenen Werthe und auch der Mittel der Einzelversuche von dem Gesammtmittel.

Wesentlich anders wie die Zeit für die Wanderung des Linsenbildchens verhält sich aber die Zeit für die subjective Accommodation, denn 1. dauert die subjective Accommodation ausnahmslos länger. Unsere Beobachtungen stimmen sehr wohl mit den Beobachtungen Vierordt's und Aeby's, welche die Zeit für die subjective Accommodation bestimmten. Vierordt [1]) fand für die Accommodation von Fern auf Nah unter ähnlichen Versuchsbedingungen, wie sie in unseren Versuchen waren, etwa 1,2 Sec. erforderlich — wir fanden im Mittel 1,57 Sec. — für die Accommodation von Nah auf Fern fand dagegen Vierordt 0,7 Sec., wir 0,82 Sec. im Mittel. Wir stimmen daher dem Satze Vierordt's bei „dass die Zeitdauer für die Accommodation von Fern auf Nah beträchtlich grösser ist, als die Dauer des umgekehrten Accommodationsvorganges." Vierordt hat ferner die Entfernung der Fixationspunkte von dem Auge mannigfach variirt und ist zu dem Resultate gekommen, „dass die Verzögerungen relativ stärker werden bei grösseren Näherungen des Nahezeichens an das Auge". (2) Wir haben nur auf zweierlei Entfernungen des Nahezeichens eingestellt, nämlich auf 11 cm und auf 20 cm; unsere Zahlen schliessen sich bestätigend dem Vierordt'schen Resultate an, denn bei Accommodation von Fern auf Nah fanden wir für 11 cm Entfernung im Mittel 1,57 Sec., für 20 cm Entfernung nur 0,93 Sec. — bei der Accommodation von Nah auf Fern bei 11 cm Entfernung 0,82 Sec., bei 20 cm Entfernung aber 0,62 Sec. — Die Versuche von Aeby sind mit den Vierordt'schen und den unsrigen nicht direct vergleichbar, weil die grösste Entfernung des Fernzeichens bei Aeby nur 43 cm, die geringste Entfernung des Nahezeichens 11,5 cm betrug, doch sind seine Resultate bezüglich der obigen Sätze Vierordt's qualitativ in Uebereinstimmung.

In Uebereinstimmung sind ferner Vierordt's, Aeby's und unsere Resultate darin, „dass die subjective Accommodationsgeschwindigkeit zu verschiedenen Zeiten beträchtliche Schwankungen

1) Vierordt, l. c. p. 23 und 30.

darbietet.“ (3) Keiner der drei von der subjectiven Accommodation geltenden Sätze lässt sich von der Wanderung des Linsenbildchens aussagen: der Werth von S bleibt ziemlich constant — nur bei grosser Nähe des Nahezeichens (11 cm) ist die Zeitdauer für die Wanderung des Bildchens im Mittel etwas grösser gefunden worden, als bei etwas geringerer Nähe (20 cm.).

Es entsteht gegenüber den geringen Variationen von S unter verschiedenen Bedingungen zunächst der Verdacht, dass wegen der sehr kurzen absoluten Dauer der Wanderung des Linsenbildchens die Zeitmarkirung nur ungenau habe ausgeführt werden können.

Dass dieser Umstand störend eingewirkt haben könne, wollen wir nicht in Abrede stellen, aber andererseits müssen wir doch sagen, dass er eine wesentliche Verschiebung unserer Beobachtungen nicht bedingt haben kann. Denn 1. ist die absolut kurze Zeitdauer der Wanderung des vorderen Linsenbildchens so auffallend und frappant, dass ein Irrthum darüber als ausgeschlossen angesehen werden muss. 2. sind die Werthe für die Wanderungszeiten bei Nahe- und Fernaccommodation im Mittel einander ziemlich gleich — sie differiren für die einzelnen Beobachtungen allerdings nicht unerheblich, aber in entgegengesetztem Sinne. Dass diese Variationen von kleinen Störungen, Aufmerksamkeit u. s. w. bedingt seien, ist sehr wahrscheinlich; dass aber die Markirungen doch genau genug sind, um, wenn sie durch die Dauer des objectiven Vorganges bedingt sind, dieser Ausdruck zn geben, ergiebt sich aus Beobachtungen, welche wir über die Wanderungszeit des Linsenbildchens bei einer solchen Einstellung des Tubus am Phakoeidoskop erhielten, dass der Pupillarrand scharf, das Linsenbildchen aber nur bei der Accommodation für die Nähe scharf begrenzt erschien. In diesen Beobachtungsreihen schien es nämlich direct, als ob die Geschwindigkeit der Wanderung bei Naheaccommodation geringer wäre, als bei Ferneaccommodation und demgemäss waren auch die Resultate der Markirungen: in Versuch 8 Tabelle I beträgt die Zeit für die Wanderung bei Naheaccommodation im Mittel 0,54 Sec. — bei Ferneaccommodation 0,36 Sec. Wirklich vorhandene Differenzen werden also trotz der kurzen absoluten Zeit der Wanderung doch sehr wohl markirt.

Es entsteht nun die Frage, woher rührt diese grosse Differenz der Zeitdauer der subjectiven Accommodation gegen die Zeitdauer

der Wanderung des Linsenbildchens? Die Abhängigkeit der Accommodation von der Krümmungsveränderung der vorderen Linsenfläche dürfen wir auf Grund unserer Versuche nicht anzweifeln, sie sind vielmehr eine Bestätigung von Cramer's Beobachtung mittelst Cramer's Methode. Was bewirkt dann aber die auffallende Verzögerung der subjectiven Accommodation, nachdem das Linsenbild seine Wanderung vollendet hat?

Wir müssen zur Beantwortung dieser Frage zunächst in Betracht ziehen, was bei der subjectiven Accommodation markirt wird: der erste Act, der Willensimpuls zum Aufgeben des Accommodationszeichens wird wohl als im Ganzen zusammenfallend mit der Fingerbewegung zum Markiren anzusehen sein — fällt er nicht genau damit zusammen, so wird der entstehende Fehler, wie schon Vierordt [1]) erwogen hat, verhältnissmässig sehr klein sein und bei einer grösseren Anzahl von Beobachtungen in verschiedenem Sinne ausfallen. Der zweite Act erfordert, dass das neue Accommodationszeichen scharf gesehen wird, und dass diese Empfindung durch die Bewegung des Fingers markirt wird. Es muss also, wenn die Linse ihre neue Form schon angenommen hat, noch der Empfindungsprocess und der Process der Bewegungsauslösung ablaufen, ehe der markirende Stift seine Bewegung macht. Der erste Act vollzieht sich ohne den Einfluss der persönlichen Gleichung — der zweite mit Einschluss der persönlichen Gleichung. Der Beobachter S markirt aber beide Male mit Einschluss der persönlichen Gleichung: er markirt also den ersten Act um die Dauer seiner persönlichen Gleichung später, als der Accommodirende — den zweiten Act unter denselben Verhältnissen, wie der Accommodirende. Es ist also zu erwarten, dass OS gleich ist dem Werthe der persönlichen Gleichung des Beobachters — wir wollen sie mit P^s bezeichnen — dass SO aber gleich Null ist, wenn die persönliche Gleichung des Beobachters P^s gleich ist der persönlichen Gleichung des Accommodirenden, die wir mit P^o bezeichnen wollen. Für die Accommodation von Nah auf Fern ist diese Erwartung, welche Fig. IV F ausdrückt, nahezu erfüllt, für die Accommodation von Fern auf Nah dagegen nicht. Im ersteren Falle würde sein $O = S + P^o$; $OS = P^s$, $SO = P^s - P^o$; im zweiten Falle $O = S + P^o + x$; $SO = P^o + x$.

1) Vierordt, l. c. p. 19 u. f.

Was zunächst die persönlichen Gleichungen der Beobachter betrifft, so wurden dieselben für uns bestimmt, indem der Oeffnungsfunken eines Stromes beobachtet wurde, wenn er in O Figur 1 übersprang, wodurch der Anker der registrirenden Pfeife losgelassen und die Pfeife gesenkt wurde — so wie der Funken gesehen wurde, drückte der Beobachter auf seinen Elfenbeinknopf, wodurch der Strom geschlossen und der Anker angezogen wurde; der Weg, welchen die Pfeife während der Oeffnung des Stromes beschrieben hatte, entsprach also der Zeit der persönlichen Gleichung, oder der einfachen Reactionszeit im Sinne von von Kries und Auerbach. Dieselbe ergab als Gesammtmittel aus 80 Einzelbestimmungen für Angelucci im Mittel = 0,259 Sec., Minimum 0,170 Sec., Maximum 0,382 Sec. — für Aubert 0,276 Sec. im Mittel, Minimum 0,195 Sec., Maximum 0,348 Sec. — für Westien in Mittel 0,264 Sec. Minimum 0,121 Sec. Maximum 0,311 Sec. Indess die hier gefundenen Zahlen sind, obgleich höher als die bisher von andern Beobachtern[1]) gefundenen, für unsre Accommodationsversuche zu niedrig, da die Wahrnehmung des Anfanges der Bewegung des Linsenbildchens wahrscheinlich eine längere Zeit beansprucht, als die Wahrnehmung eines einfach überspringenden Funkens. Es wird sich also nicht um die einfache Reactionszeit, sondern um die Unterscheidungszeit im Sinne von von Kries und Auerbach[2]) handeln. Ja es wird dazu noch eine gewisse Zeit kommen, während welcher das Bildchen in Bewegung sein muss, um wahrnehmen zu lassen, dass es sich bewegt. — Für den vorliegenden Fall werden wir daher den Werth für die persönliche Gleichung grösser als 0,27 Sekunden setzen müssen und am nächsten dürften wir wohl dem wahren Werthe kommen, wenn wir den Werth für OS gleich dem für die persönliche Gleichung setzten, also im Mittel = 0,43 Sekunden. Setzen wir für P den Werth OS, so bekommen wir in Tabelle II genau für OF die in Figur 4, F gemachte Voraussetzung bestätigt, denn für die erste Abtheilung dieser Tabelle ist das Mittel der O^F (= 0,82″) in der That gleich S^F (= 0,39″) + OS^F (= 0,43″). Bei den grossen Schwankungen der einzelnen Mittel erscheint diese genaue Zusammenstimmung der Gesammtmittel allerdings zum Theil zufällig.

1) von Kries und Auerbach l. c. p. 359.

2) ibid. p. 299.

Nun ist aber die Zeit für die subjective Naheaccommodation viel grösser als $S^N + OS^N$ — es kommt dazu noch der immer positive Werth SO^N, im Mittel der ersten Abtheilung von Tabelle I = 0,79 Sekunden. Durch welchen Vorgang wird diese bedeutende Verzögerung der subjectiven Accommodation bewirkt?

Wir glauben den Schlüssel für dieses räthselhafte Verhalten in folgender Betrachtung zu finden: bei der Accommodation für die Ferne fiel in unsern Versuchen mit sehr weit entferntem Fernzeichen die Einstellung der brechenden Medien nahezu zusammen mit dem Fernpunkte der (emmetropischen) Augen — es trat also die Einstellung für das Fernzeichen ein bei fast gänzlicher Erschlaffung der Accommodationsmuskulatur, und die Einstellung für die Ferne bedurfte dann keiner genauen Correctur. Bei der Einstellung des Auges für das Nahezeichen konnte aber der Muskulatur nicht sofort derjenige Willensimpuls genau ertheilt werden, welcher zum vollständigen Deutlichsehen des Nahezeichens erfordert wird, sondern es konnte nur ein ungefährer Willensimpuls ertheilt werden, welchem dann noch nachträglich eine genauere Einstellung folgen musste, bis die völlig scharfe Wahrnehmung des Nahezeichens eintrat. Diese kann nur durch Probiren gefunden werden, d. h. nachdem in Folge der Accommodationsanstrengung das Nahezeichen noch nicht ganz scharf erschienen ist, wird ein zweiter kleinerer Accommodationsimpuls ertheilt, welcher den ersten Accommodationsact auf Grund der wahrgenommenen Empfindung modificirt. Dieser zweite kleinere Accommodationsvorgang wird offenbar nur eine ganz geringe Bewegung des Linsenbildchens zur Folge haben, welche der Beobachtung entgeht, oder als ein geringes Schwanken des Linsenbildchens bemerkbar wird, aber nicht mehr von dem Beobachter markirt werden kann. Von dem Linsenbildchen wird also nur die so zu sagen „grobe" Bewegung, nicht die feinere Modification derselben zur Beobachtung kommen.

Eine ähnliche doppelte Einstellung, eine gröbere und eine feinere, ist in einem ganz anderen Empfindungsgebiete von einem von uns (Aubert)[1]) früher beobachtet worden: wird bei geschlossenen Augen eine Stelle der Haut leise berührt und dem Berührten

1) Aubert und Kammler, Untersuchungen über den Druck- und Raumsinn der Haut. Moleschott Untersuchungen Bd. V, 1858, p. 161.

die Aufgabe gestellt, mit einem Stifte diese Stelle zu treffen, so macht derselbe zuerst eine ziemlich ungenaue Bewegung nach der berührten Stelle hin — erst wenn er auf der Haut in der Nähe der berührten Stelle angekommen ist, macht er dann die feinere Bewegung, vermöge welcher er in den Empfindungskreis der berührten Stelle gelangt. Bei diesem Versuche kann subjectiv und objectiv die gröbere und die feinere Einstellung deutlich erkannt werden.

Wenn wir diese Annahme machen, dass bei der Accommodation eine gröbere und eine feinere Einstellung stattfindet, so gewinnen wir theils eine Erklärung für die Thatsache, dass für die Naheaccommodation eine längere Zeit erfordert wird, als für die Accommodation auf grosse Ferne — theils finden wir aber auch eine Erklärung für die grossen Schwankungen, welche die Zeiten für die Naheaccommodation (O^N) zeigen, während die Schwankungen bei der Ferneaccommodation erheblich geringer sind; endlich erklärt sich daraus die in den meisten Versuchsreihen beobachtete Abnahme der Zeitdauer für die Naheaccommodation im Laufe der Versuchsreihe, während eine solche für die Ferneaccommodation nicht oder nur in sehr geringem Grade eintritt. Je näher das Nahezeichen sich dem Nahepunkte befindet, um so mehr muss aber die Bewegung des gespannten Muskels erschwert sein, und um so mehr Zeit erfordert werden, damit die Correctionsbewegungen ausgeführt werden können.

Mag nun diese Erklärung das Richtige treffen oder nicht, jedenfalls ist es nicht die verschiedene Zeitdauer der Bewegung des Linsenbildchens, welche die Differenz zwischen der Zeit für Naheaccommodation und der Zeit für die Ferneaccommodation bedingt.

Einen sehr auffallenden Contrast zu der Geschwindigkeit der Bewegung des vorderen Linsenbildchens bei der Accomodation bildeten die sehr viel langsameren Bewegungen der Iris. Von Anfang unserer Untersuchungen an war uns dieser Unterschied aufgefallen — da mit unserm Apparate die Irisbewegungen, so weit sie mit der Accommodation associirt sind, sehr leicht und sicher beobachtet werden können, so haben wir in mehreren besonderen Versuchsreihen die Zeiten, welche für die Irisbewegung erforderlich sind, bestimmt. Die Anordnung der Versuche ist dieselbe, wie in den beschriebenen Versuchen: der Accommodirende O mar-

kirt Anfang und Ende der subjectiven Accommodation in gleicher Weise, der Beobachter S markirt den Beginn und das Ende der Irisbewegung mit seinem Apparate. Hierzu ist nur noch zu bemerken, dass bei Pupillenverengerung immer die grösste Verengerung als Ende derselben angesehen und markirt wurde, die regelmässig erfolgende kleine vorübergehende Wiedererweiterung der Pupille aber nicht weiter berücksichtigt worden ist. Ebenso ist die ziemlich regelmässige Schwankung nach Erweiterung der Pupille nicht berücksichtigt worden. Im Ganzen ist die Bestimmung des Maximums der Erweiterung unsicherer, als die des Maximums der Verengerung. Da es kein besonderes Interesse hat, die Einzelbeobachtungen anzuführen, so geben wir nur die Mittelzahlen aus 32 Beobachtungen, welche weder unter einander, noch von unsern übrigen Bestimmungen erheblich differiren.

Mittel der subjectiven Naheaccommodation $O^N = 1{,}705$ Sec.
" " " Ferneaccommodatien $O^F = 1{,}014$ "
" der beobachteten Pupillenverengerung $S^N = 0{,}903$ "
" " " Pupillenerweiterung $S^F = 1{,}051$ "

Die Irisbewegung erfolgt also in ungefähr eben so langer Zeit, wenn das Auge für die Nähe, als wenn es für die Ferne accommodirt wird, und die Dauer der Irisbewegung fällt mit der Dauer der subjectiven Ferneaccommodation fast genau zusammen. Während also die Iris ihre Bewegung in ungefähr 1 Sekunde ausführt, vollendet die Accomodationsmuskulatur die Veränderung der vorderen Linsenkrümmung in ungefähr 0,37 Sekunden.

Die Irisbewegungen erfolgen also der Zeit nach in ganz anderer Weise und unabhängig von den Bewegungen der Ciliarmuskeln. Ob diese Verschiedenheit von der verschiedenen Innervation oder von der verschiedenen Muskelaction abhängig ist, bleibt unbestimmt.

Wir fassen die Resultate unserer Beobachtungen in folgende Sätze zusammen:

1. Die Zeit, welche das Linsenbild zu seiner Wanderung bedarf, ist immer viel geringer, als die Zeit, welche zur subjectiven Accommodation erfordert wird.

2. Die Zeiten, deren die Wanderung des Linsenbildchens bedarf, sind fast dieselben, wenn von der Nähe für die Ferne, als wenn von der Ferne für die Nähe accommodirt wird.

3. Die Zeit für die Wanderung des Linsenbildchens ist

ein wenig grösser, wenn das Nahezeichen sich im Nahepunkte des Auges befindet, als wenn das Nahezeichen etwas ferner als der Nahepunkt liegt.

4. Die Zeit zwischen dem Beginne der subjectiven Accommodation und dem Eintritte der Bewegung des Linsenbildchens ist grösser, als die „einfache Reactionszeit" oder die persönliche Gleichung. Diese Zeit ist erheblichen Schwankungen unterworfen, ohne indess Differenzen in bestimmtem Sinne zu zeigen.

5. Die Verschiedenheit der für die Naheaccommodation erforderlicheu Zeit von der für die Ferneaccommodation nöthigen Zeit beruht nicht auf einer Verschiedenheit der Bewegungen des Reflexbildchens von der vorderen Linsenfläche.

6. Die Irisbewegung erfordert eine viel längere Zeit, als die accommodative Veränderung der vorderen Linsenfläche.